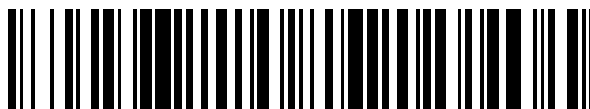


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 956 042**

51 Int. Cl.:

B23K 26/03 (2006.01)

B23K 26/082 (2014.01)

B23K 26/342 (2014.01)

G02B 15/16 (2006.01)

G02B 26/10 (2006.01)

G02B 27/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.10.2017** **E 21155408 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 3838472**

54 Título: **Unidad de direccionado con dos ventanas, un elemento óptico y un dispositivo de direccionado XY**

30 Prioridad:

27.10.2016 DE 102016120523

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.12.2023

73 Titular/es:

RAYLASE GMBH (100.0%)
Argelsrieder Feld 2 + 4
82234 Wessling, DE

72 Inventor/es:

BÖHMER, CARL;
LEHMANN, WOLFGANG;
SCHIEFEN, CHRISTIAN y
SCHÖN, PHILIPP

74 Agente/Representante:

ARAUJO EDO, Mario

ES 2 956 042 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Unidad de direccionado con dos ventanas, un elemento óptico y un dispositivo de direccionado XY

5 **Campo técnico**

La presente invención se ubica en el campo de la técnica de la fabricación por láser y el procesamiento por láser y se refiere a una unidad de direccionado.

10 **Antecedentes**

Para muchos procesos de fabricación y de procesamiento industriales se usan unidades de direccionado para manipular en el espacio y en el tiempo la trayectoria de haces láser y así barrer con ellos un campo de trabajo sobre una superficie de trabajo.

15 Un ejemplo de dominio de uso de unidades de direccionado es la fabricación aditiva basada en láser. La fabricación aditiva ofrece una gran libertad de diseño en la concepción de componentes y resulta adecuada en particular para la construcción rápida de maquetas, lo que se conoce también como "Rapid Prototyping" (prototipado rápido).

20 Además del uso en el prototipado rápido, la fabricación aditiva se está usando cada vez más también para la fabricación industrial a mayor escala, de manera que el dominio de uso de la fabricación aditiva está transicionando en creciente medida desde el prototipado rápido a la fabricación industrial en masa o al llamado "Rapid Manufacturing" (fabricación rápida). La fabricación aditiva está adquiriendo cada vez más importancia en la producción industrial, por ejemplo, en el procesamiento de metales y en los campos de la aeronáutica y la tecnología médica. Además, tiene el potencial de sustituir muchos procedimientos de fabricación industrial clásicos, como por ejemplo la técnica de colado.

La fabricación aditiva abarca los procesos de "Direct Powder Fusion" (fusión directa de polvo), es decir, un procedimiento en el que por medio de un haz láser, por ejemplo, un haz láser de alta energía, se funde de forma localizada y selectiva un lecho de polvo, "Vat Photopolymerization" (fotopolimerización VAT), es decir, un procedimiento en el que un baño de un material, por ejemplo, una resina, se expone de forma selectiva y localizada a un láser y de esta manera se endurece, y "Direct Energy Deposition" (deposición directa de energía), es decir, un procedimiento en el que un polvo se introduce paralelamente o en el mismo sentido con respecto a la radiación láser, para aplicar de esta manera material. Estos procesos son procesos de construcción basados en superficies, en los un volumen es generado capa a capa ("layer-by-layer"). Con el haz láser direccionado por la unidad de direccionado se barre entonces una superficie de trabajo plana, por ejemplo, la superficie de un baño de materia sintética ("Vat Photopolymerization" / fotopolimerización Vat) o de un lecho de polvo ("Direct Powder Fusion" / fusión directa de polvo), para provocar una polimerización inducida por láser en zonas deseadas de la capa de superficie de la materia sintética o una fusión o sinterización de los granos de polvo. Con ello, se genera una nueva capa o un nuevo estrato de la pieza y se une por unión material a la capa de la pieza situada por debajo. Esto se repite capa a capa, haciendo descender las capas de la pieza ya fabricadas respecto a la unidad de direccionado y aplicando una nueva de material suelto sobre la última capa que se haya fabricado, por ejemplo materia sintética no polimerizada o polvo. A continuación, el proceso de barrido láser se aplica a la nueva capa según la forma de la pieza que haya de fabricarse.

45 Este tipo de procesos de construcción aditiva, basados en láser y superficies pueden progresar de forma comparativamente rápida, por ejemplo, hasta 4 m/seg., pero a causa de la multiplicidad de capas necesarias para la fabricación de un componente, pueden tardar varios días, en los que el proceso progresa a todas horas. Los requisitos de precisión son muy elevados y pueden situarse en el rango de 10 a 20 μm y por debajo.

50 Hasta las menores diferencias del proceso pueden conllevar que la precisión requerida no se cumpla en todo el volumen de la pieza. Esto puede conllevar bien a que sea necesario un postprocesado engorroso, siempre y cuando sea posible. Si no es posible sin complicaciones, por ejemplo, en caso de errores en el interior del volumen de la pieza, también puede ser necesario volver a fabricar el componente por completo. Además, puede suceder que las diferencias del proceso no se detecten.

55 Para evitar esto y poder intervenir inmediatamente corrigiendo errores de proceso en caso de producirse, es necesario observar y vigilar el proceso durante la fabricación. Un control de calidad en línea de este tipo, en combinación con una regulación de proceso y/o un control de proceso, permite subsanar inmediatamente o evitar por completo errores de componente debidos al proceso. Esto permite incrementar considerablemente la eficiencia del proceso, la fiabilidad del proceso así como el rendimiento y sustituir procedimientos de fabricación clásicos, basados en el volumen, como por ejemplo la técnica de colado.

65 Del documento DE102013017795B3 se conoce por ejemplo un dispositivo de direccionado para soldadura por láser que comprende una unidad de direccionado para el direccionado de un haz láser y una cámara interna para el control de calidad en línea. En este dispositivo, con la ayuda de un espejo dicróico, la trayectoria del haz de trabajo se superpone con el campo visual de la cámara, de manera que durante el barrido con la ayuda de un espejo de barrido, el campo visual de la cámara se mueve sobre la pieza de trabajo de forma sincrónica con el haz láser de trabajo. Entre

el espejo dicróico y el espejo de barrido está dispuesta una lente de enfoque móvil en la trayectoria del haz de trabajo y en la trayectoria del haz de imagen, para ajustar el punto focal del haz láser.

Del documento KR20120114651A se conoce una unidad de direccionado según el preámbulo de la reivindicación 1 .

5 Este documento describe una máquina de soldadura láser, en la que luz láser entra en sentido vertical por una primera ventana. A continuación, la luz láser es colimada por una lente de colimación, es desviada en un sentido horizontal por un primer espejo, vuelve a ser desviada en el sentido vertical por un segundo espejo y es enfocada por una lente F-Theta. La lente de colimación se puede elevar y descender, siendo la única lente móvil del sistema.

10 El documento US2014/0263221A1 (base del preámbulo de la reivindicación 1) divulga un dispositivo de descontaminación por láser que comprende un dispositivo de barrido de eje Z que presenta una lente fija y una única lente desplazable.

15 En el documento US2005/0150876A1 se describe un dispositivo para soldadura láser, en el que luz láser entra por una primera ventana y es colimada por un primer grupo de lentes móviles. A continuación, la luz láser es transformada por una lente móvil adicional en un haz de luz divergente y es desviada de un sentido horizontal a un sentido vertical por un espejo fijo. Entonces, la luz láser es enfocada por una lente fija y es desviada por un segundo espejo, tras lo cual la luz láser sale del dispositivo por una segunda ventana. El primer espejo fijo está dispuesto en la trayectoria del haz láser entre la lente móvil adicional y la lente fija. Este dispositivo no implementa ninguna compensación de campo plano.

Resumen de la invención

25 La presente invención tiene el objetivo de proporcionar una unidad de direccionado que permita un proceso de trabajo por láser mejorado y una observación de proceso, una vigilancia de proceso, un control de proceso y una gestión de proceso mejorados, en particular en un proceso de fabricación aditiva basado en láser.

30 Este objetivo se consigue mediante el objeto de la reivindicación 1. Formas de realización y variantes ventajosas se indican en las reivindicaciones dependientes. En la reivindicación 15 se definen usos de tales unidades de direccionado.

35 La presente invención se refiere a una unidad de direccionado según la reivindicación 1, en particular para la fabricación por láser y para la observación de un proceso de fabricación por láser. La unidad de direccionado según la invención comprende una primera ventana, por la que un haz óptico de trabajo puede entrar en la unidad de direccionado, una segunda ventana, por la que el haz de trabajo puede salir de la unidad de direccionado y por la que pueden entrar en la unidad de direccionado haces de detección desde una zona de trabajo, a lo largo del respectivo curso del haz de trabajo saliente y en sentido contrario al mismo, un primer equipo de detección opcional, preferiblemente dispuesta dentro de la unidad de direccionado, y un elemento óptico que refleja al menos parcialmente una primera longitud de onda y que opcionalmente transmite además al menos parcialmente una (otra) segunda longitud de onda. La unidad de direccionado define una trayectoria del haz de trabajo que el haz de trabajo recorre desde la primera ventana hasta la segunda ventana a mediante una reflexión en el elemento óptico. La primera ventana corresponde al suministro del haz de trabajo, por ejemplo, un extremo de fibra, por el que el haz de trabajo entra en la unidad de direccionado.

45 Cuando la unidad de direccionado comprende un primer equipo de detección, la unidad de direccionado define además una trayectoria de haz de detección que los haces de detección recorren desde la segunda ventana hasta el primer equipo de detección, siendo transmitidos los haces de detección al menos parcialmente por el elemento óptico.

50 La unidad de direccionado comprende además un dispositivo de direccionado XY que está dispuesto entre la segunda ventana y el elemento óptico en la trayectoria del haz de trabajo y, en caso de estar presente el primer equipo de detección, en la trayectoria del haz de detección, para dirigir el haz de trabajo, para barrer el haz de trabajo saliente y, dado el caso, para al mismo tiempo dirigir los haces de detección para que recorran la trayectoria del haz de detección pasando por el elemento óptico hasta el primer equipo de detección, un dispositivo de enfoque para el enfoque del haz de trabajo, presentando el dispositivo de enfoque una distancia focal variable y estando dispuesto en la trayectoria del haz de trabajo entre la primera ventana y el elemento óptico.

60 Además, en caso de estar presente el primer equipo de detección, la unidad de direccionado puede comprender un dispositivo óptico dispuesto en la trayectoria del haz de detección entre el elemento óptico y el primer dispositivo de detección y configurado para variar una distancia focal para los haces de detección.

65 Las distancias focales variables permiten, con un control correspondiente de cada una de ellas, una correspondiente adaptación a diferentes ángulos de direccionado con la misma distancia de trabajo, es decir, una llamada compensación de campo plano, así como una adaptación a diferentes distancias de trabajo. "Distancia focal variable" puede significar en particular que la distancia focal es adaptable y/o que es posible un seguimiento focal durante el proceso. Una óptica fija rígida con una distancia focal invariable no tiene por tanto una distancia focal variable. La posibilidad de una compensación de campo plano resulta en particular ventajosa para una fabricación aditiva basada

en láser, en la que el láser barre un campo de trabajo plano regular y en ese proceso puede estar o permanecer enfocado siempre sobre la superficie del campo de trabajo.

A diferencia del estado de la técnica mencionado al principio, la unidad de direccionado según la invención comprende un dispositivo de enfoque y, opcionalmente, un dispositivo óptico para una distancia focal variable respectivamente para los haces de trabajo o para los haces de detección que han de ser detectados. El dispositivo de enfoque está dispuesto solo en el haz de trabajo y el dispositivo óptico puede estar dispuesto solo en la trayectoria del haz de detección. Mediante este desacoplamiento es posible variar o adaptar la posición del foco del haz de trabajo sin influir al mismo tiempo en la detección del primer equipo de detección, y adaptar y variar la detección por parte del primer equipo de detección sin influir al mismo tiempo en el proceso de trabajo del láser. De esta manera, la observación del proceso con el primer equipo de detección puede estar siempre optimizada con respecto a los respectivos requisitos de observación, que también pueden variar durante el transcurso del proceso, y al mismo tiempo el procesamiento láser puede estar siempre optimizado con respecto a los respectivos requisitos del proceso, que pueden incluir también una variación de la posición de foco y/o de la forma del foco durante el transcurso del proceso.

Mediante el desacoplamiento, el dispositivo de enfoque y el dispositivo óptico pueden ser controlados independientemente entre sí, de manera que pueden optimizarse respectivamente diferentes requisitos de manera mutuamente independiente. Además, los respectivos controles no tienen que considerar o compensar ninguna influencia del otro control respectivamente, ya que a causa del desacoplamiento no es necesaria ninguna acción recíproca entre una detección adaptativa con el primer equipo de detección y un enfoque adaptivo del haz de trabajo. Por consiguiente, la unidad de direccionado según la invención permite un proceso de trabajo más flexible y por tanto más eficiente con una vigilancia de proceso optimizada y además un proceso de trabajo y de observación respectivamente más robusto y menos propenso a los fallos, más fiable y más exacto, a la vez que permite una ejecución del proceso, lo cual es necesaria para una observación, una vigilancia de proceso, un control de proceso, una configuración de proceso y/o una regulación de proceso efectivos.

Preferiblemente, el dispositivo de enfoque está configurado para variar la distancia focal en función de una configuración del dispositivo de direccionado XY y/o de una distancia de trabajo. Esto permite adaptar la distancia focal al respectivo ángulo de direccionado, de manera que se pueda realizar una compensación de campo plano y el foco pueda mantenerse en un plano durante el barrido. Alternativamente o adicionalmente, mediante una variación de la distancia focal, por ejemplo, se puede variar la distancia de trabajo en un valor offset comparativamente grande.

El dispositivo de enfoque comprende varias lentes o grupos de lentes móviles y puede estar configurado para mover una lente o un grupo de lentes o varias de las lentes o varios de los grupos de lentes conjuntamente a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. De esta manera, se puede variar la distancia focal y por tanto la posición del foco. "Grupo de lentes" se refiere aquí a una serie de lentes dispuestas unas muy juntas detrás de otras, que cumplen la misma función que una lente individual correspondiente.

De acuerdo con la invención, el dispositivo de enfoque está configurado para variar el diámetro de foco del haz de trabajo sin variar al mismo tiempo la posición del foco, si bien esta característica puede ser opcional en realizaciones que no sean de acuerdo a la invención. Dicho de otra manera, el tamaño de foco y por tanto la intensidad en la respectiva superficie de trabajo puede aumentarse o reducirse sin que cambie la cáustica del haz y sin que cambie la posición del foco. De esta manera, la respectiva intensidad sobre la superficie de trabajo se puede adaptar durante el barrido a diferentes condiciones, sin que el foco se aleje de la superficie de trabajo. De esta manera, se puede incrementar la flexibilidad y la eficiencia del proceso de láser.

De acuerdo con la invención, el dispositivo de enfoque comprende varias lentes móviles, es decir, al menos dos, y la unidad de direccionado está configurada para mover simultáneamente las al menos dos lentes independientemente entre sí. De esta manera, las al menos dos lentes pueden moverse por ejemplo simultáneamente en sentidos opuestos. Esto permite variar el tamaño del foco, sin variar al mismo tiempo la posición del foco. En algunas formas de realización, el movimiento de las lentes puede constar de una combinación de un movimiento en sentidos opuestos y un movimiento conjunto, no en sentidos opuestos si no en el mismo sentido, de manera que con un control correspondiente se pueden variar al mismo tiempo la posición del foco y el tamaño del foco.

En realizaciones preferentes, el dispositivo de enfoque comprende una primera lente móvil, una segunda lente móvil y una lente fija, estando dispuesta la segunda lente móvil después o detrás de la primera lente móvil en el sentido del haz de trabajo, y estando dispuesta la lente fija después o detrás de la primera lente móvil y de la segunda lente móvil en el sentido del haz de trabajo. Se entiende que la primera y la segunda lentes móviles pueden estar formadas respectivamente por un primer y un segundo grupo de lentes móviles. La lente fija igualmente puede estar formada por un grupo de lentes fijas. Por lo tanto, todas las propiedades descritas en lo sucesivo con respecto a la primera lente móvil, a la segunda lente móvil y a la lente fija también son válidas para los correspondientes grupos de lentes, en caso de estar presentes.

La primera lente móvil y la segunda lente móvil pueden moverse juntas o en sentidos opuestos o independientemente entre sí a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. El haz de trabajo se propaga sucesivamente, primero a través de la primera lente móvil, y después, a través de la segunda lente móvil y, finalmente, a través de la lente fija. La lente

fija sirve para el enfoque del haz de trabajo sobre el campo de trabajo. Una o varias de la primera lente móvil o de las lentes del primer grupo de lentes, de la segunda lente móvil o de las lentes del segundo grupo de lentes y de la lente fija o de las lentes del grupo de lentes fijas pueden presentar además una o varias superficies esféricas.

- 5 Una distancia entre el plano principal del lado objeto de la primera lente móvil y la primera ventana difiere en algunas formas de realización en no más del 50%, preferiblemente no más del 30%, de forma en particular preferible no más del 10% de la distancia focal de la primera lente móvil. El haz de trabajo puede entrar de forma divergente en la unidad de direccionado y una anchura del haz de trabajo puede estar situada dentro de la primera ventana. Por lo tanto, la distancia mencionada anteriormente varía siempre dentro de un pequeño intervalo alrededor de la distancia focal de la primera lente móvil. De esta manera, se consigue que para cada posición del foco exista un intervalo de la escala de representación del dispositivo de enfoque, en el que el diámetro del haz de trabajo, es decir, el tamaño del foco, en la segunda lente móvil sea aproximadamente igual de grande o más grande que en la primera lente móvil. Dado que los efectos térmicos de las lentes escalan de forma recíprocamente cuadrada con el diámetro del haz, por lo tanto, se minimiza la influencia de las variaciones térmicas de las segunda lentes móviles en el dispositivo de enfoque completo, por lo que se pueden evitar variaciones descontroladas de la posición del foco y de la escala de representación del dispositivo de enfoque causadas térmicamente.

En algunas formas de realización, la distancia entre la primera lente móvil y la segunda lente móvil se elige de tal forma que la posición axial de una imagen virtual generada por la primera y la segunda lentes móviles pueda variar dentro de un rango correspondiente al recorrido de desplazamiento de la segunda lente móvil. La segunda lente móvil puede moverse a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo dentro de este recorrido de desplazamiento. Este requisito puede considerarse como límite inferior para la distancia entre la primera lente móvil y la segunda lente móvil, siendo posibles también distancias más grandes.

Esto permite mantener constante el enfoque del haz de trabajo sobre el campo de trabajo mediante un desplazamiento correspondiente de la segunda lente móvil con la variación simultánea de la escala de representación del dispositivo de enfoque. Esto se puede conseguir posicionando la segunda lente móvil de tal forma que se mantenga siempre constante una distancia D entre una imagen virtual de la primera ventana o del suministro de haz de trabajo generada por la primera y la segunda lentes móviles y el plano principal del lado del objeto de la lente fija, con una posición de foco determinada y deseada del dispositivo de enfoque. Esta distancia D (en aproximación paraxial) consiste en una distancia entre el plano principal, situado en el lado imagen de la lente fija y la posición focal Δ deseada del dispositivo de enfoque, y la distancia focal f_F de la lente fija según la ecuación representada:

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{f_F}.$$

En algunas formas de realización, la primera lente móvil, la segunda lente móvil y la lente fija presentan respectivamente una distancia focal positiva, una distancia focal negativa y una distancia focal positiva. De esta manera, el haz de trabajo puede ser colimado por la primera lente móvil. Tras su paso por la primera lente móvil, el haz de trabajo puede ser convergente o divergente, según la distancia entre la primera lente móvil y la primera ventana.

Según formas de realización preferibles, las distancias focales y las posiciones de la primera lente móvil y de la segunda lente móvil se eligen de tal forma que el dispositivo de enfoque no presenta ningún foco situado entre la primera lente móvil y la lente fija. Por lo tanto, aparte de la entrada del haz de trabajo mismo y el foco sobre el campo de trabajo, el dispositivo de enfoque no presenta ningún foco adicional.

La distancia entre la primera lente móvil y la primera ventana puede reducirse mediante el desplazamiento de la primera lente móvil a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo, de tal forma que el haz de trabajo sea divergente entre la primera lente móvil y la segunda lente móvil y disminuya la escala de representación y, por tanto, el diámetro del foco o el tamaño del punto del haz de trabajo. Aumentando la distancia entre la primera lente móvil y la primera ventana se puede conseguir alternativamente que el haz de trabajo sea convergente entre la primera lente móvil y la segunda lente móvil y que aumente la escala de representación y, por tanto, el diámetro de foco del haz de trabajo.

Simultáneamente a un desplazamiento de este tipo de la primera lente móvil para controlar la escala de representación del dispositivo de enfoque también se puede adaptar la posición del foco del dispositivo de enfoque mediante un desplazamiento correspondiente de la segunda lente móvil, de tal forma que el dispositivo de enfoque se mantenga enfocado sobre el campo de trabajo. La unidad de direccionado según la invención permite conseguir cualquier combinación posible de la escala de representación y la distancia del foco dentro de intervalos predeterminados, mediante la adaptación de las posiciones de la primera lente móvil y la segunda lente móvil. De esta manera, el haz de trabajo puede permanecer siempre enfocado sobre el campo de trabajo. Además, también la intensidad de haz del haz de trabajo, que está determinada por el diámetro del foco, puede permanecer constante para diferentes ángulos de direccionado, que para un campo de trabajo plano corresponden a diferentes distancias de trabajo.

De acuerdo con la invención, la unidad de direccionado comprende además una unidad de control que está configurada para controlar desplazamientos de la primera lente móvil y de la segunda lente móvil a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. De acuerdo con la invención, la unidad de control está configurada para adaptar la

distancia focal del dispositivo de enfoque en su conjunto en función de una configuración del dispositivo de direccionado XY. Adicionalmente, la unidad de control puede estar configurada para adaptar la distancia focal del dispositivo de enfoque en su conjunto en función de una distancia de trabajo. La unidad de control puede comprender además uno o varios accionamientos configurados para el control y la regulación de las posiciones axiales respectivamente de la primera lente móvil y de la segunda lente móvil. Esto permite un control parcialmente o totalmente automatizado de la primera y la segunda lentes móviles. La unidad de control igualmente puede estar unida, para el control totalmente automatizado del enfoque de la unidad de direccionado, a un dispositivo de direccionado.

En algunas formas de realización, la unidad de direccionado comprende uno o varios mecanismos de desplazamiento que están configurados para el desplazamiento manual de la primera lente móvil y/o de la segunda lente móvil a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. Los mecanismos de desplazamiento permiten influir manualmente en el posicionamiento de la primera y/o la segunda lentes móviles y permiten ampliar un recorrido de desplazamiento de la primera y/o la segunda lentes móviles cubierto por la unidad de control. De esta manera, se puede conseguir una mayor variedad de posibles posiciones del foco y escalas de representación del dispositivo de enfoque.

En otras formas de realización preferibles, el elemento óptico puede tener una o varias de las siguientes propiedades ópticas: un grado de reflexión $\geq 80\%$, preferiblemente $\geq 90\%$, de forma en particular preferible $\geq 99\%$ para una longitud de onda de trabajo, en particular una longitud de onda entre 1.020 nm y 1.080 nm, un grado de transmisión $\geq 20\%$, preferiblemente $\geq 70\%$, de forma en particular preferible $\geq 90\%$ para longitudes de onda entre 400 nm y 900 nm, y un grado de transmisión $>20\%$, preferiblemente $>70\%$, de forma en particular preferible $>90\%$ para longitudes de onda entre 1.300 y 2.100 nm. De esta manera, es posible hacer pasar por la unidad de direccionado un haz de trabajo altamente energético con la longitud de onda de trabajo, de manera exclusivamente o casi exclusivamente reflectante, de modo que en la unidad de direccionado se produzca poco calor de absorción o ninguno. En cambio, los haces de detección poco energéticos con espectros de longitud de onda en el intervalo de 1.300 nm a 2.100 nm, es decir, por encima de una longitud de onda de trabajo posible entre 1.020 y 1.080 nm, y en el intervalo de 400 nm a 900 nm, es decir, por debajo de una longitud de onda de trabajo posible entre 1.020 y 1.080 nm, incluidos posibles haces de iluminación de por ejemplo 850 nm, pueden ser transmitidos por el elemento óptico y, de esta manera, ser espacialmente separados del haz de trabajo. El rango de longitud de onda de trabajo (intervalo de reflexión) mencionado anteriormente resulta en particular ventajoso para el procesamiento de material. Los intervalos de longitud de onda para posibles haces de detección (intervalos de transmisión) permiten una evaluación completa de haces de detección originados sobre la superficie de trabajo y/o reflejados por la superficie de trabajo.

Según una forma de realización ventajosa de la unidad de direccionado según la invención, el elemento óptico está dispuesto de forma oblicua en la trayectoria del haz de detección y, además, está dispuesto un elemento de compensación óptica en la trayectoria del haz de detección entre el elemento óptico y el primer equipo de detección, que compensa al menos parcialmente una distorsión óptica, en particular una aberración y/o un astigmatismo, causada por una transmisión a través del elemento óptico oblicuo. A causa de las propiedades de transmisión y de reflexión del elemento óptico y de la oblicuidad del elemento óptico, los haces de detección pueden separarse del haz de trabajo. Sin embargo, la transmisión a través de un elemento óptico oblicuo, no perpendicular al haz, puede conllevar una distorsión óptica o a un astigmatismo que puede conllevar una detección poco nítida o imprecisa con el primer equipo de detección. Mediante la compensación, este error de representación puede compensarse directamente o al menos ser reducido. Si el equipo de detección es por ejemplo una cámara, de esta manera se puede mejorar la resolución espacial de la representación y se puede evitar una corrección electrónica posterior. Pero también en otros equipos de detección, por ejemplo, en un tomógrafo de coherencia óptica, se puede incrementar enormemente la precisión y/o la sensibilidad de detección. Esto permite una mejora adicional de la eficiencia, la precisión y la fiabilidad del proceso.

En algunas formas de realización, el elemento óptico está formado por una primera placa planoparalela y el elemento de compensación está formado por una segunda placa planoparalela y ambas placas están dispuestas oblicuas respecto a la trayectoria del haz de detección. Esto permite una compensación en particular sencilla, poco complicada, precisa, pasiva y rápida.

En formas de realización preferibles, la unidad de direccionado comprende un dispositivo óptico que está configurado o se puede controlar para una adaptación de la colimación, del enfoque o de un ensanchamiento de haz en función de una configuración del dispositivo de direccionado XY y/o de una distancia de trabajo. De esta manera, pueden ser detectadas y observadas de forma igualmente exacta y sensible zonas de trabajo, es decir, secciones representadas de la superficie de trabajo en el lugar del procesamiento láser, cuyos haces de detección recorran, a causa de diferentes ángulos de direccionado y/o a causa de diferentes distancias de trabajo, unos recorridos de distinta longitud hasta la detección con el primer equipo de detección. Esto permite una observación flexible, versátil y precisa.

Según algunas formas de realización, las unidades de direccionado están configuradas para un procesamiento con una distancia de trabajo o distancias de trabajo entre 238 mm y 850 mm, preferiblemente entre 238 mm y 671, de forma en particular preferible entre 300 mm y 548 mm. La distancia de trabajo corresponde a la distancia entre la superficie de salida o de entrada de la segunda ventana y una superficie de trabajo plana situada debajo de la segunda ventana, en la que en la orientación de operación de la unidad de direccionado puede procesarse y observarse con la unidad de direccionado un campo de trabajo plano en la superficie de trabajo. La posibilidad de "procesar" requiere

que la unidad de direccionado pueda enfocar el haz de trabajo sobre la totalidad del campo de trabajo plano. La posibilidad de "observar" requiere que la unidad de direccionado pueda detectar con el primer equipo de detección o representar en una superficie de detección del primer equipo de detección cada zona de trabajo dentro del campo de trabajo que corresponda al campo visual del primer equipo de detección.

En algunas o varias de las formas de realización mencionadas anteriormente, las unidades de direccionado presentan un campo de trabajo con un tamaño de 200x200 mm² a 6200x600 mm², preferiblemente hasta 500x500 mm². El campo de trabajo corresponde a una zona plana que está disponible para el procesado con la unidad de direccionado a la respectiva distancia de trabajo y que la unidad de direccionado puede barrer con el foco del haz de trabajo. El campo de trabajo puede tener distintos tamaños para diferentes distancias de trabajo.

Preferiblemente, la unidad de direccionado según la invención está dimensionada y configurada de tal manera que en la orientación de funcionamiento, su superficie de proyección al plano del campo de trabajo sobresale del campo de trabajo por al menos un lado, por al menos dos lados, por al menos tres lados y/o por cuatro lados. Dicho de otra manera, el campo de trabajo puede sobresalir del "footprint" (de la huella) solo parcialmente, o bien, estar contenido en su totalidad en la misma. En cada lado por el que el campo de trabajo sobresalga del footprint, el campo de trabajo, que puede por ejemplo ser rectangular o cuadrado, puede combinarse de manera ininterrumpida con un campo de trabajo de otra unidad de direccionado, si las unidades de direccionado se disponen correspondientemente unas al lado de otras. Esto resulta en particular ventajoso para un procesamiento paralelizado, lo cual permite reducir adicionalmente el tiempo de producción y favorece la fabricación en masa.

Algunas de las unidades de direccionado mencionadas anteriormente también pueden dimensionarse o concebirse de tal forma que cuatro de estas unidades de direccionado puedan disponerse de tal forma que para una o varias distancias de trabajo, sus campos de trabajo se complementen formando un campo de trabajo global plano ininterrumpido con un tamaño de 3,5 a 4 veces el tamaño de cada uno de los campos de trabajo. En una fabricación aditiva basada en láser esto permite la producción de piezas hasta cuatro veces más grandes.

Alternativamente, algunas de las unidades de direccionado mencionadas anteriormente también pueden estar dimensionadas y configuradas de tal manera que cuatro de estas unidades de direccionado se dispongan de tal forma que para una o varias distancias de trabajo, sus campos de trabajo se ensamblen formando un campo de trabajo de conjunto plano ininterrumpido que sea más pequeño que un campo de trabajo individual. De esta manera, el tamaño del campo de trabajo de conjunto, con un solape al 100% de los respectivos campos de trabajo, puede medir por ejemplo 2/3 del tamaño de un campo de trabajo individual. En caso de una fabricación aditiva, esto permite reducir hasta 4 veces el tiempo de producción. Esto puede hacer posible tender a alcanzar o incluso a largo plazo configurar los altos ritmos de producción habituales de los procedimientos establecidos, como por ejemplo la técnica de colado.

Según algunas formas de realización, las unidades de direccionado también pueden estar dimensionadas y configuradas de tal forma que dos de estas unidades de direccionado puedan disponerse de tal forma que sus campos de trabajo se solapen formando un campo de trabajo común, presentando el campo de trabajo común una superficie que sea de al menos el 50%, preferiblemente al menos el 60%, de forma en particular preferible al menos el 70% de la superficie de un respectivo campo de trabajo individual. Por consiguiente, las unidades de direccionado que trabajan en paralelo no necesariamente tienen que trabajar en paralelo en campos de trabajo propios adyacentes, sino que también pueden trabajar en paralelo en un campo de trabajo común o en una parte común de un campo de trabajo. De esta manera, se puede seguir incrementando la eficiencia del proceso y también mejorar la calidad de los componentes, por ejemplo, si una de las unidades de direccionado que trabajan en paralelo se usa para la corrección de los errores de la otra unidad de direccionado.

En algunas formas de realización, la unidad de direccionado comprende un primer equipo de detección que es o comprende una cámara. Estas formas de realización comprenden un sistema óptico de representación para representar la zona de trabajo en la cámara, comprendiendo el sistema óptico de representación el dispositivo óptico mencionado anteriormente. En estas formas de realización, el dispositivo óptico está configurado para modificar la distancia focal del sistema óptico de representación. De esta manera, el proceso puede ser observado y vigilado visualmente.

En las formas de realización mencionadas anteriormente, la relación de representación de la superficie de la zona de trabajo a la distancia de trabajo, representada en la cámara, y la superficie del chip de cámara puede ser de entre 1,7 y 0,5, preferiblemente de 0,8. Estas relaciones permiten un equilibrio en particular ventajoso entre una resolución espacial necesaria para una vigilancia suficientemente exacta del proceso, un número de píxeles lo más pequeño posible de la cámara para una lectura suficientemente rápida, un chip de cámara más grande (representación dentro del intervalo de 1:1) para una buena intensidad o rendimiento de luz, un campo visual suficientemente grande de la cámara sobre la superficie de trabajo para la vigilancia de una zona de trabajo suficientemente grande y una longitud de trayecto de representación lo más corta posible para una forma de construcción compacta de la unidad de direccionado.

En algunas formas de realización ventajosas, la cámara posee un chip del tamaño 2/3" o 8,8 mm x 6,6 mm, que tenga en particular 1280 x 1024 píxeles, y la superficie representada de la zona de trabajo, que corresponde al campo visual

de cámara a la distancia de trabajo, tiene un tamaño entre 8 mm x 6 mm y 14 mm x 10,5 mm. Este tamaño de chip permite una frecuencia de imagen o resolución temporal suficientemente alta de la vigilancia. Además, la superficie representada es suficientemente grande para una valoración del proceso y se hace posible una resolución óptica o espacial suficientemente grande.

5 En algunas de las formas de realización mencionadas anteriormente, una longitud de trayecto de representación que los haces de detección o de imagen recorren antes de entrar en el sistema óptico de representación hasta el chip de cámara, es de entre 400 mm y 700 mm, preferiblemente entre 420 mm y 600 mm, de forma en particular preferible entre 450 y 510 mm, en particular a 480 mm. Este tipo de longitudes de trayecto permiten una estructura comparativamente compacta a la vez que permiten un equilibrio óptimo entre la resolución espacial (que está relacionada con la relación de representación, la nitidez o el grado de ausencia de distorsión, el número de píxeles), la rapidez o la frecuencia de imagen (que está relacionada con el número de píxeles), el tamaño de la superficie representada (que está relacionado con la relación de representación, el tamaño de chip) y un sistema óptico de representación lo menos compleja posible (número y tipo de lentes) que, en comparación, puede ser robusta y económica. Una estructura compacta resulta en particular ventajosa para procesos de láser en paralelo, es decir, la fabricación o el procesado de un componente con la ayuda de varios haces láser y unidades de direccionado al mismo tiempo, porque las unidades de direccionado pueden disponerse unas más cerca de otras, de tal forma que sus campos de trabajo se cruzan o son parcialmente adyacentes.

20 En una o varias de las formas de realización mencionadas anteriormente, la cámara permite una frecuencia de toma de imágenes ≥ 500 Hz, preferiblemente ≥ 1 kHz, de forma en particular preferible $\geq 1,5$ kHz, en particular ≥ 2 kHz. De esta manera, el proceso puede ser observado y analizado con una alta resolución temporal, de manera que pueden ser detectados, analizados y, dado el caso, corregidos incluso errores menores.

25 Además, la unidad de direccionado según la invención puede comprender un equipo de iluminación dispuesto y orientado para iluminar el campo de trabajo completo al mismo tiempo con la segunda longitud de onda, en particular con una homogeneidad $\geq 80\%$. De esta manera, no es necesario barrer haces de iluminación, de manera que se puede iluminar de forma estática en dirección al campo de trabajo y con respecto al campo de trabajo. En comparación con una iluminación direccionada, en estas formas de realización, el proceso puede presentar una alta fiabilidad y robustez. Además, se puede iluminar con una homogeneidad comparativamente grande, de manera que para diferentes zonas se den condiciones de representación homogéneas.

30 En las formas de realización mencionadas anteriormente, el equipo de iluminación también puede estar configurado para una iluminación por flash. De esta manera, se consigue incrementar la intensidad de luz y se puede hacer posible una duración útil más larga de las lámparas con una mayor intensidad de luz.

35 En algunas formas de realización, la iluminación se realiza por flash de tal manera que las tomas de imagen de la cámara se producen respectivamente durante un flash de iluminación y la duración del flash es mayor que la duración de registro de imagen de la cámara, o corresponde a la misma. De esta manera, se puede garantizar que incluso en caso de la representación de solo una pequeña sección del campo iluminado se tenga la intensidad de luz suficiente para la toma de imágenes.

40 Preferiblemente, el tiempo de desconexión de la iluminación es mayor que el tiempo de conexión de la iluminación, o corresponde a la misma. De esta manera, se puede evitar un sobrecalentamiento, por lo que se pueden incrementar la duración útil y la precisión y fiabilidad del proceso.

45 Algunas de las formas de realización mencionadas anteriormente comprenden además un capturador de video, al que está conectada la cámara. El capturador de video permite una lectura y un procesamiento más rápidos de las imágenes de la cámara, lo que permite seguir refinando y mejorando la vigilancia del proceso y, por consiguiente, incrementar también la eficiencia del proceso.

50 En algunas formas de realización alternativas, el primer equipo de detección es un tomógrafo de coherencia óptica ("optical coherence tomograph", OCT) o lo comprende. El tomógrafo de coherencia óptica permite la detección y la observación de diferencias de altura existentes y/o de diferencias de altura originadas durante el proceso o a causa del proceso. Es una alternativa a la vigilancia de proceso por cámara. En otras formas de realización, el primer equipo de detección puede comprender también otros equipos de detección que de manera ventajosa puedan hacerse funcionar con el dispositivo óptico adaptable.

60 Algunas de las formas de realización mencionadas anteriormente de la unidad de direccionado según la invención comprenden además un segundo elemento óptico y un segundo equipo de detección, estando dispuesto el segundo elemento óptico en la trayectoria del haz de detección entre el elemento óptico y el primer equipo de detección, siendo reflejada al menos parcialmente la segunda longitud de onda para su transmisión al primer equipo de detección y siendo transmitidas al menos parcialmente otras longitudes de onda para su transmisión al segundo equipo de detección. De esta manera, además de la observación y la vigilancia directas por medio del primer equipo de detección, puede llevarse a cabo una vigilancia adicional del proceso sin lagunas a lo largo del tiempo de producción, que puede proporcionar informaciones adicionales o vigilar otros parámetros del proceso. Una intervención de control o de

regulación en el proceso, a base de esta vigilancia ampliada, puede contribuir por tanto a una mejora adicional de la eficiencia y la calidad del proceso.

El segundo elemento óptico puede tener una o varias de las siguientes propiedades ópticas: un grado de reflexión $\geq 80\%$, preferiblemente $\geq 90\%$, de forma en particular preferible $\geq 95\%$, para una longitud de onda de iluminación entre 630 nm y 670 nm o entre 820 nm y 870 nm, preferiblemente con un ángulo de incidencia de 45° , un grado de transmisión $> 20\%$, preferiblemente $> 70\%$, de forma en particular preferible $> 90\%$ para longitudes de onda entre 400 nm y 700 nm, un grado de transmisión de $> 20\%$, preferiblemente $> 70\%$, de forma en particular preferible $> 90\%$, para longitudes de onda entre 1.300 nm a 2.100 nm. Los intervalos de transmisión espectralmente extendidos mencionados anteriormente del primer y segundo elementos ópticos permiten, además de la observación con el primer equipo de detección, una observación adicional, realizada paralelamente, de forma local en determinadas longitudes de onda o de forma integrativa a través de uno o varios intervalos de longitud de onda más grandes, como por ejemplo el procedimiento integrativo de una medición de intensidad de luz por fotodiodo.

El segundo equipo de detección puede comprender un fotodiodo, un pirómetro, una segunda cámara, preferiblemente una cámara VIR y/o una cámara multispectral, para crear un mapa de radiación y/o de calor ("heatmap generation" / generación de mapa de calor), un sensor térmico de imagen y/o un tomógrafo de coherencia óptica.

La unidad de direccionado según la invención y sus formas de realización mencionadas anteriormente resultan en particular adecuadas para la fabricación aditiva, en particular para "Direct Powder Fusion" (fusión directa de polvo), fotopolimerización VAT y/o "Direct Energy Deposition" (deposición directa de energía). Estos procesos incluyen también u "Selective Laser Melting" (SLM) (fusión directa por láser) y "Laser Metal Deposition" (LMD) (deposición de metal por láser). Sin embargo también puede usarse para otras aplicaciones. La presente invención no está limitada a estas aplicaciones.

La presente invención se refiere además al uso de una unidad de direccionado según una o varias de las formas de realización mencionadas anteriormente, para fabricación aditiva, en particular para "Direct Powder Fusion", fotopolimerización Vat y/o "Direct Energy Deposition".

30 Breve descripción de las figuras

Más ventajas y características de la presente invención se explican en detalle en la siguiente descripción con la ayuda de las figuras adjuntas.

La figura 1 muestra la estructura esquemática de una unidad de direccionado según una forma de realización según la invención.

La figura 2 muestra la estructura detallada del dispositivo de enfoque de la unidad de direccionado de la figura 1.

La figura 3 muestra una unidad de direccionado según otra forma de realización según la invención.

La figura 4 muestra una unidad de direccionado según otra forma de realización según la invención.

La figura 5 muestra una vista exterior de una unidad de direccionado según una forma de realización según la invención.

La figura 6 muestra una vista en planta esquemática desde arriba de una disposición de cuatro unidades de direccionado según una forma de realización según la invención para una fabricación paralelizada.

La figura 7 muestra una vista en planta esquemática desde arriba de una disposición de dos unidades de direccionado según una forma de realización según la invención para una fabricación paralelizada.

En las figuras, las características que son idénticas están previstas de signos de referencia idénticos.

55 Descripción detallada de ejemplos de formas de realización

La figura 1 muestra una estructura esquemática de una unidad de direccionado 10 según una forma de realización según la invención. La unidad de direccionado 10 comprende una primera ventana 12, por la que un haz de trabajo 14 óptico puede entrar en la unidad de direccionado 10. La primera ventana 12 está dispuesta dentro de un conector fibroóptico, a través del cual un láser de fibra u otra conexión fibroóptica puede conectarse a la unidad de direccionado 10. En otras formas de realización, el haz de trabajo 14 puede entrar como haz libre en la unidad de direccionado 10, sin que esté previsto un conector fibroóptico.

La unidad de direccionado 10 comprende además un dispositivo de enfoque 16 para enfocar el haz de trabajo 14 sobre una superficie de trabajo 18, un elemento óptico 20 para reflejar el haz de trabajo 14, un dispositivo de

direccionado XY 22 para barrer el haz de trabajo sobre la superficie de trabajo 18, y una segunda ventana 24, por la que el haz de trabajo puede salir de la unidad de direccionado 14. Los elementos 16, 20, 22, 24 mencionados anteriormente están dispuestos a lo largo de una trayectoria del haz de trabajo en la unidad de direccionado 10 y son atravesados en el orden citado por un haz de trabajo 14 que entra en la unidad de direccionado 10, o bien, reflejan el haz de trabajo 14 en el orden especificado anteriormente.

El dispositivo de direccionado XY 22 comprende un primer espejo de barrido 26 y un segundo espejo de barrido 28 que están configurados para dirigir el haz de trabajo 14 en un sentido X o en un sentido Y y hacer un barrido respectivo.

Además, la unidad de direccionado 10 comprende un primer equipo de detección en forma de una cámara 30 que está dispuesta dentro de la unidad de direccionado 10 para detectar haces de detección o de imagen 32 reflejados por una zona de trabajo 34 dentro de la superficie de trabajo 18. Los haces de imagen 32 detectados recorren una trayectoria del haz de detección o de imagen desde la superficie de trabajo 18 hasta la cámara 30, recorriendo los haces de imagen 32 sucesivamente los siguientes elementos o siendo reflejados por los mismos: la segunda ventana 24, el dispositivo de direccionado XY 22, el elemento óptico 20, un elemento de compensación 36, un segundo elemento óptico 38 así como un dispositivo óptico 39. El dispositivo óptico 39 es parte de un sistema óptico de representación 40. El dispositivo óptico 39 está configurado para variar la distancia focal del sistema óptico de representación 40.

En algunas formas de realización, el dispositivo óptico 39 es un dispositivo de colimación que garantiza que los haces de imagen 32 estén colimados en un punto determinado en la trayectoria de haces de imagen, entre el dispositivo 39 y la cámara 30, a diferentes distancias de imagen. Pero en otras formas de realización, los haces de imagen 32 no tienen que estar necesariamente colimados o no tienen que estar necesariamente colimados en todas partes entre el dispositivo 39 y la cámara 30. A causa de la posibilidad de adaptación, de ajuste o de modificación del dispositivo 39, este es variable o modificable y se puede mantener constante una colimación, una anchura y/o un enfoque de los haces de imagen 32 entre el dispositivo 39 y la cámara 30 con una distancia de imagen que varía.

La segunda ventana 24 puede comprender una lámina transparente al haz de trabajo 14 y a los haces de imagen 32. Este puede proteger el espacio interior de la unidad de direccionado 10 contra la suciedad o las impurezas y además ofrecer un aislamiento térmico para evitar un aporte de calor demasiado fuerte de la superficie de trabajo 18 a la unidad de direccionado 10. En otras formas de realización, la segunda ventana 24 puede comprender también una abertura sin material en ella, mediante la que se establece una comunicación de aire o de fluido entre el espacio interior y el espacio exterior de la unidad de direccionado 10.

En la forma de realización de la figura 1, el sistema óptico de representación 40 comprende, como está representado en la figura 1, dos lentes 42, 46, el dispositivo óptico 39 que comprende una lente 44 adicional, y dos espejos de direccionado 48, 50 para representar la zona de trabajo 34, a través de una longitud de trayecto de representación del sistema óptico de representación 40, en un chip de la cámara 30. La longitud de trayecto de representación está definida por la longitud de trayecto óptico que los haces de imagen 32 recorren desde su entrada en el sistema óptico de representación 40 hasta su incidencia sobre el chip de la cámara 30. En la figura 1, la longitud de trayecto de representación corresponde al trayecto óptico que los haces de imagen recorren desde la lente de entrada 42 hasta el chip de cámara. Cabe destacar que en otras formas de realización, el sistema óptico de representación 40 puede tener otra estructura pudiendo comprender en particular más o menos lentes y/o espejos que pueden estar dispuestos de otra manera de lo que está representado en la figura 1.

En la unidad de direccionado 10, la distancia focal variable del sistema óptico de representación 40 se consigue mediante una movilidad de la lente 44. La lente 44 es parte del dispositivo óptico 39 que puede ser por ejemplo un dispositivo de colimación, de ensanchamiento o de enfoque, de alta velocidad. La lente 44 puede moverse a alta velocidad en un sentido y otro a lo largo de la dirección de los haces de imagen 32 en el lugar de la lente 44. De esta manera resulta posible una representación constantemente nítida a la vez que una alta resolución temporal de la vigilancia, incluso en caso de una rápida variación de la longitud de trayecto de la zona de trabajo 34 a la cámara 30 para los haces de imagen 32 durante el barrido.

El dispositivo de enfoque 16, que se muestra con más detalle en la figura 2, comprende igualmente una distancia focal variable. En las formas de realización de las figuras 1 y 2, el dispositivo de enfoque comprende una lente fija 52 para el enfoque del haz de trabajo 14, una primera lente móvil 56 y una segunda lente móvil 54. El dispositivo de enfoque 16 puede ser controlado de tal manera que la primera lente móvil 56 y la segunda lente móvil 54 se muevan independientemente entre sí a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. Además, la primera lente móvil 56 y la segunda lente móvil 54 pueden moverse juntas y en el mismo sentido a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. De esta manera, se varía la distancia focal para el haz de trabajo 14, es decir, la distancia del foco del haz de trabajo 14 respecto al punto de reflexión en el segundo espejo de barrido 28. Esto resulta en particular ventajoso, porque durante el barrido del haz de trabajo 14 sobre la superficie de trabajo 18 varía la distancia de la respectiva zona de trabajo 34 al dispositivo de direccionado XY 22 y, por tanto, la longitud de trayecto óptico que el haz de trabajo 14 recorre desde el dispositivo de enfoque 16 hasta la respectiva zona de trabajo 34. A través de una variación de la distancia focal puede ser compensada esta variación de la longitud de trayecto óptico, de manera que se puede garantizar que el haz de trabajo 14 quede enfocado sobre la superficie de trabajo 18 durante todo el proceso de barrido. En el caso de un campo de trabajo 18 plano se habla también de una "compensación de campo plano".

Además, la distancia focal variable hace posible una adaptación a diferentes distancias de trabajo entre la superficie de trabajo 18 y la unidad de direccionado 10.

La segunda lente móvil 54 está dispuesta después o detrás de la primera lente móvil 56 en el sentido del haz de trabajo 14 y la lente fija 52 está dispuesta después de las lentes móviles primera y la segunda 54, 56 en el sentido del haz de trabajo 14. A través de la elección de la lente fija 52 para el enfoque se puede determinar el rango, dentro del cual puede ajustarse la distancia de trabajo y para el que está configurada la unidad de direccionado 10. Si la lente fija 52 tiene una distancia focal más corta, la distancia de trabajo puede ajustarse en torno a una distancia de trabajo media más corta, y viceversa. El rango de distancia de trabajo corresponde al rango de las distancias entre el plano de la segunda ventana 24 y la superficie de trabajo 18, para la cual el haz de trabajo 14 puede ser enfocado a un campo de trabajo correspondiente dentro de la superficie de trabajo 18 y para la cual puede ser realizada una representación del campo de trabajo al plano del chip de la cámara 30 a través de los respectivos haces de imagen 32. El tamaño del campo de trabajo resulta de la respectiva distancia de trabajo y del rango angular, dentro del cual puede dirigirse el haz de trabajo 14 con la ayuda del dispositivo de direccionado XY.

Como se muestra en la figura 2, el dispositivo de enfoque 16 de la forma de realización representada de la unidad de direccionado según la invención comprende una unidad de control 70 que está configurada para controlar el desplazamiento de la primera lente móvil 56 y la segunda lente móvil 54 a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. Además, el dispositivo de enfoque 16 comprende un primer mecanismo de desplazamiento manual 72 y un segundo mecanismo de desplazamiento manual 74 que están configurados respectivamente para el desplazamiento manual de la primera lente móvil 56 y de la segunda lente móvil 54 a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo. La primera lente móvil 56 y la segunda lente móvil 54 pueden ser deslizadas dentro de respectivos recorridos de desplazamiento a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo, mediante el accionamiento de los mecanismos de desplazamiento 72 y 74 y/o de la unidad de control 70 que comprende accionamientos (no representados) que sirven en particular para este fin.

La distancia entre el plano principal, situado en el lado objeto de la primera lente móvil 56 y la primera ventana 12, por la que el haz de trabajo 14 entra en el sistema óptico, no difiere en la forma de realización representada en más de 10% de la distancia focal de la primera lente móvil 56. Además, las distancias focales y las posiciones de la primera lente móvil 56 y de la segunda lente móvil 54 están elegidas de tal forma que no se dé ningún foco intermedio en el interior del dispositivo de enfoque 16.

En la forma de realización representada, la primera lente móvil 56 presenta una distancia focal positiva. La segunda lente móvil 54 presenta una distancia focal negativa, y la lente fija 52 presenta una distancia focal positiva. Con la presente distancia entre la primera lente móvil 56 y la primera ventana 12, esto conlleva que el haz de trabajo 14 sea divergente entre la primera lente móvil 56 y la segunda lente móvil 54 en la forma de realización representada.

La escala de representación del dispositivo de enfoque 16 se puede reducir mediante la reducción de la distancia entre la primera lente móvil 56 y la primera ventana 12, por ejemplo, accionando el mecanismo de desplazamiento 72 o mediante un movimiento de desplazamiento, controlado por la unidad de control 70, de la primera lente móvil 56. De esta manera, se produce una reducción del diámetro del foco del haz de trabajo 14, de manera que aumenta la intensidad del haz de trabajo que incide sobre el campo de trabajo 18. Aumentando la distancia entre la primera lente móvil 56 y la primera ventana 12 se puede provocar un aumento correspondiente del diámetro del foco del haz de trabajo 14. De esta manera, se reduce la intensidad del haz sobre el campo de trabajo 18.

La posición de la segunda lente móvil 54 puede ser adaptada de tal forma que la imagen virtual de la primera ventana 12, generada por la primera 54 y la segunda lente móvil 56, presente una distancia con respecto al plano principal en el lado del objeto de la lente fija 52, que según la ecuación de representación teniendo en consideración la distancia focal de la lente fija 52, corresponde a la distancia entre el plano principal, situado en el lado imagen de la lente fija 52 y la posición deseada del foco, es decir, la posición de la superficie de trabajo 18. Dicho de otra manera, la imagen virtual de la primera ventana 12, generada por la primera 54 y la segunda lente móvil 56, presenta una distancia con respecto al plano principal en el lado objeto de la lente fija 52 que corresponde a una distancia que iguala la distancia resultante de la ecuación de representación entre el foco y el plano principal en el lado imagen de la lente fija 52 a la distancia adecuada para la posición deseada del foco.

En la forma de realización representada en la figura 2, la primera lente móvil 56 presenta una distancia focal de 63 mm, mientras que la segunda lente móvil 54 presenta una distancia focal de 68 mm. La lente fija 52 presenta una distancia focal de 126 mm. Las posiciones de la primera lente móvil 56 y de la segunda lente móvil 54 pueden ser controladas y determinadas por la unidad de control 70 dentro de un recorrido de desplazamiento de 11 mm, de tal forma que la distancia entre la primera lente móvil 56 y de la segunda lente móvil 54 puede variar entre 564 mm y 586 mm. Además, la distancia entre la primera lente móvil 56 y la primera ventana 12 puede ajustarse en un intervalo entre 60 mm y 71 mm.

En un ejemplo de forma de realización, el campo de trabajo puede presentar un cualquier tamaño entre 200x200 mm² y 600x600 mm², preferiblemente hasta 500x500 mm², pudiendo realizarse la adaptación al respectivo tamaño del campo de trabajo con la ayuda del dispositivo de enfoque 16.

En la forma de realización de las figuras 1 y 2, las lentes móviles 54, 56 también pueden ser controladas de tal manera que se muevan en sentidos contrarios a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo, de tal forma que varíe únicamente el diámetro del foco y que no varíe la posición del foco o la distancia del foco con respecto al dispositivo de direccionado XY 22. Dicho de otra manera, el diámetro del foco se puede variar sin variar al mismo tiempo la cáustica del haz. Las lentes móviles 54, 56 pueden ser posicionadas de tal forma que la posición del foco se mantenga durante variaciones del diámetro del haz de trabajo, o al revés.

Los dos tipos de control mencionados anteriormente también pueden combinarse entre sí, de tal forma que se pueda garantizar que el haz de trabajo esté enfocado sobre la superficie de trabajo 18 durante todo el proceso de barrido, en función de la respectiva distancia de trabajo y del ángulo de direccionado o ángulo de barrido momentáneo, pudiendo variarse al mismo tiempo el diámetro del foco durante todo el proceso de barrido, independientemente de la posición del foco. Esto permite una configuración muy flexible y ventajosa del proceso, porque la intensidad del haz de trabajo sobre la superficie de trabajo 28 puede adaptarse de forma rápida y controlada a variaciones de las condiciones de proceso o requisitos, por ejemplo, una variación del tamaño de grano del polvo en el proceso de construcción aditiva o una variación de la velocidad de barrido.

En otras implementaciones menos preferentes, el dispositivo de enfoque 16 puede también comprender solamente una lente móvil para adaptar la distancia focal.

La estructura mencionada anteriormente de la unidad de direccionado 10 según la invención permite una realización combinada en particular ventajosa de un proceso de trabajo por láser, por ejemplo, una fabricación aditiva por fusión, sinterización o fundición de granos de polvo en un lecho de polvo, y la observación y vigilancia simultáneas del proceso de trabajo por láser por medio de la cámara 30.

El modo de funcionamiento y las ventajas de la unidad de direccionado 10 se explican en detalle a continuación.

El elemento óptico 20 que está dispuesto tanto en la trayectoria del haz de trabajo como en la trayectoria de haz de imagen refleja la longitud de onda del haz de trabajo 14 y es al menos parcialmente transparente a la longitud de onda de los haces de imagen 32. De esta manera, los haces de imagen 32 que inicialmente entran en la unidad de direccionado 10 en sentido contrario al haz de trabajo 14 a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo, a través de la segunda ventana 24, son separados espacialmente del haz de trabajo 14 y, tras la separación, son transmitidos a través de del dispositivo óptico 39 a la cámara 30. Dicho de otra manera, la trayectoria de haz de imagen y la trayectoria del haz de trabajo están solapadas (sentido descendente) después del elemento óptico 20 en el sentido del haz de trabajo 14 y están separadas (sentido ascendente) después del elemento óptico en el sentido contrario al del haz de trabajo 14.

En algunas formas de realización, el elemento óptico (20) refleja parcialmente no solo una primera longitud de onda, sino al menos parcialmente un primer rango de longitudes de onda, y/o transmite al menos parcialmente no solo una (otra) segunda longitud de onda, sino al menos parcialmente uno o varios (otros) intervalos de longitudes de onda. Estos uno o varios (otros) intervalos de longitudes de onda pueden ser inferiores y/o superiores al primer rango de longitud de onda o de la primera longitud de onda.

En el ejemplo de la figura 1, el elemento óptico 20 se compone de una placa planoparalela dispuesta de forma oblicua en la trayectoria de haz de imagen. El ángulo entre la normal de superficie de la placa planoparalela y la trayectoria de haz de imagen puede ser por ejemplo de 45°.

En algunas formas de realización, la longitud de onda de trabajo, para la que el elemento óptico 20 es reflectante, se sitúa en el rango entre 1.020 nm y 1.080 nm, siendo por ejemplo de 1.070 nm. Los haces de imagen 32 se proporcionan en algunas formas de realización mediante una iluminación (no representada en la figura 1) que puede estar dispuesta por debajo del dispositivo de direccionado XY 22, alrededor de la trayectoria del haz de trabajo, y que ilumina la superficie de trabajo 18. En algunas formas de realización, se ilumina con una longitud de onda de 850 nm, para la cual el elemento óptico 20 es transparente o al menos parcialmente transmisor.

En un ejemplo de forma de realización, la reflectividad del elemento óptico 20 con 45° para la longitud de onda de 1.070 nm es superior a 99% y la transmisión en el rango de longitud de onda de 400 nm a 900 nm es >20%, preferiblemente >70%, de forma en particular preferible >90% y la transmisión para el rango de longitud de onda de 1.300 nm a 2.100 nm es >20%, preferiblemente >70%, de forma en particular preferible >90%. Por el hecho de que pueden ser transmitidas también otras longitudes de onda que la longitud de onda de iluminación de por ejemplo 850 nm, pueden ser observadas y documentadas propiedades adicionales, a lo que aún se hará referencia más adelante.

Dado que la trayectoria del haz de trabajo y la trayectoria de haz de imagen están solapadas en el sentido descendente respecto al elemento óptico 20, el dispositivo de direccionado XY 22 se usa al mismo tiempo para el barrido del haz de trabajo 14 y para el direccionado a la cámara 30 de los haces de imagen 32 que son reflejados por el lugar de la respectiva zona de trabajo 34 hacia el dispositivo de direccionado XY 22. De esta manera, durante el proceso de trabajo, el campo visual de la cámara 30 es barrido de forma conjunta y sincrónica con el haz de trabajo 14 sobre la

superficie de trabajo 18, de manera que la respectiva zona de trabajo 34 es representada en el chip de cámara en el tamaño del campo visual de la cámara 30 sobre la superficie de trabajo 18, y el proceso puede ser vigilado y controlado en línea.

5 Cabe destacar que las magnitudes “campo visual de cámara”, “campo de trabajo” y “distancia de trabajo” (con la que es posible un enfoque del haz de trabajo 14) están definidas por la unidad de direccionado y no dependen de la presencia de una superficie de trabajo 18. El campo visual de cámara y el campo de trabajo corresponden a intervalos de ángulo sobre la superficie de trabajo 18 durante el barrido pudiendo aumentarse y reducirse independientemente de la posición del foco.

10 Durante el barrido, como se ha descrito anteriormente, con la ayuda del dispositivo de enfoque 16 se puede configurar y variar de manera flexible el proceso de trabajo, y en particular, pueden realizarse independientemente entre sí una compensación de campo plano y una variación del tamaño de foco sobre la superficie de trabajo 18. Cabe destacar que el dispositivo de enfoque 16 puede garantizar también sobre superficies de trabajo 18 no planas que el foco esté situado sobre la superficie de trabajo 18 durante el barrido pudiendo aumentarse y reducirse independientemente de la posición del foco.

20 De manera similar, durante el barrido, a través de un control correspondiente de la lente móvil 44 se puede realizar una variación de la distancia focal del sistema óptico de representación 40. De esta manera, para diferentes ángulos de direccionado del dispositivo de direccionado XY 22 durante el barrido y para diferentes distancias de trabajo entre la unidad de direccionado 10 y la superficie de trabajo 18, la distancia focal puede ser ajustada y adaptada respectivamente de tal forma que la zona de trabajo 34 situada respectivamente a diferentes distancias del dispositivo de direccionado XY 22 quede representada de forma nítida en el chip de cámara. Dicho de otra manera, el dispositivo óptico 39 del sistema óptico de representación 40 permite que el plano de la imagen coincida siempre con el plano del chip y, de esta manera, el respectivo campo de trabajo pueda ser representado de forma nítida y con una alta resolución espacial en el plano de chip de la cámara.

30 En la presente descripción, el dispositivo óptico 39 y el dispositivo de enfoque 16 se refieren a aquellos elementos que están dispuestos en una de las trayectorias de haz separadas, es decir, en el sentido ascendente respecto al elemento óptico 20, independientemente de si en el sentido descendente respecto al elemento óptico 20 estén dispuestas lentes adicionales en las trayectorias de haz de trabajo y de haz de imagen juntas, que influyan en el enfoque del haz de trabajo 14 y la colimación de los haces de imagen 32, pero no los modifiquen en el tiempo o los adapten.

35 Por el hecho de que el dispositivo óptico 39 y el dispositivo de enfoque 16 están dispuestos de forma separada entre sí en el espacio y respectivamente solo en la trayectoria de haz de imagen o solo en la trayectoria del haz de trabajo, la adaptación del haz de trabajo 14 por el dispositivo de enfoque 16 no influye sobre los haces de imagen 32 que han de ser representados y la adaptación de la representación por el dispositivo óptico 39 no influye sobre el haz de trabajo 14. Debido a este desacoplamiento, el proceso de trabajo y su observación pueden variarse simultáneamente e independientemente entre sí, sin que para el control del dispositivo de enfoque 16 tenga que ser considerado el control del dispositivo óptico 39 o viceversa. De esta manera, tanto el proceso de trabajo como la observación pueden realizarse simultáneamente de forma combinada entre sí de manera más eficiente, flexible, robusta y menos propensa a los fallos.

45 A causa de la transmisión de los haces de imagen 32 a través del elemento óptico 20 situado de forma oblicua en la trayectoria de haz de imagen se puede producir una distorsión óptica, por ejemplo, en forma de un astigmatismo. Esto puede perjudicar la resolución espacial de la representación de la zona de trabajo 34 en el chip de cámara. El elemento de compensación 36 sirve para compensar esta distorsión óptica.

50 En la unidad de direccionado 10 de la figura 1, en la que el elemento óptico 20 se compone de una placa planoparalela, el elemento de compensación 36 igualmente se compone de una placa planoparalela con un grosor óptico correspondiente para los haces de imagen 32, que está dispuesta con la misma inclinación en la trayectoria de haz de imagen, pero que está girada con respecto al elemento óptico 20 con un ángulo de 90° alrededor del eje óptico de la trayectoria de haz de imagen. Dicho de otra manera, el plano formado por la normal de superficie del elemento óptico 20 y el eje óptico de los haces de imagen en el lugar del elemento óptico 20 es perpendicular al plano formado por la normal de superficie del elemento de compensación 36 y el mismo eje óptico de los haces de imagen en el lugar del elemento de compensación 36. De esta manera, se puede compensar o al menos reducir la distorsión y la zona de trabajo 34 puede representarse al menos aproximadamente sin distorsión, de manera que se puede mejorar la resolución espacial de la observación del proceso.

60 La inclinación del elemento de compensación 36 y/o del elemento óptico 20 con respecto al eje óptico de los haces de imagen puede por ejemplo ser de 45°.

65 En la unidad de direccionado 10, el campo visual de la cámara a una distancia de trabajo de 300 nm tiene un tamaño de 6 mm x 8 mm. El chip tiene un tamaño de 2/3” o 8,8 mm x 6,6 mm y tiene 1280 x 1024 píxeles. La resolución de píxeles asciende por tanto a aprox. 6 µm. Los inventores hallaron que de esta manera se puede conseguir un equilibrio óptimo entre una resolución de imagen espacial y una resolución temporal de la observación de proceso para

aplicaciones preferibles en el ámbito de la fabricación aditiva. Aunque con un mayor número de píxeles a la vez de una mayor longitud de trayecto de representación y un chip más grande o a la vez de un sistema óptico de representación más compleja se puede aumentar aún más la resolución espacial. Sin embargo, al aumentar el número de píxeles empeora la resolución temporal.

5 La distancia de trabajo corresponde a la distancia entre la segunda ventana 24 y la superficie de trabajo 18 durante el proceso de trabajo. La zona de trabajo 34 del tamaño de 6 mm x 8 mm es representada con la ayuda del sistema óptico de representación 40 en el chip de cámara con un tamaño de 8,8 mm x 6,6 mm, siendo la relación de representación ($= (6 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}) / (8,8 \text{ mm} \times 6,6 \text{ mm})$) de aprox. 0,8). La longitud de trayecto de representación que los haces de imagen 32 recorren desde su entrada en el sistema óptico de representación 40, es decir, desde la lente 10 42, hasta su incidencia sobre el chip de cámara, es de 480 mm. Esta longitud de trayecto de representación de tan solo 480 mm permite representar la zona de trabajo 34 del tamaño de 6 mm x 8 mm con una óptica poco compleja y robusta en una resolución óptica de aprox. 15 μm en el chip de cámara. Una mayor longitud de trayecto de representación permite una mayor resolución espacial óptica, pero no permite un modo de construcción tan compacto de la unidad de direccionado 10. La longitud de trayecto de representación mencionada anteriormente permite una 15 imagen nítida de forma suficiente y optimizada y, en particular, una intensidad de luz o densidad de iluminación suficientemente altas en el chip.

20 La longitud de trayecto de representación de 480 mm ofrece un equilibrio en particular ventajoso entre un modo de construcción compacto, un campo visual de cámara suficientemente grande a la distancia de trabajo, una frecuencia de toma de imágenes suficientemente alta durante el proceso de trabajo y una representación con una resolución espacial lo más alta posible. Esta longitud de trayecto de representación permite una imagen nítida de forma suficiente y optimizada y en particular una alta intensidad de luz para la iluminación del chip.

25 Una superficie de 6 mm x 8 mm es suficientemente grande para observar en un proceso de trabajo por láser, en particular un proceso de construcción aditiva basada en láser, el proceso mismo con un entorno de proceso suficientemente grande.

30 Para una buena representación de la estructura, las estructuras representadas deberían ser al menos dos veces más grande que la resolución espacial. La resolución óptica de 15 μm permite por tanto representar con resolución espacial estructuras hasta un tamaño de aprox. 30 μm . Esto resulta en particular ventajoso en procesos de fabricación aditiva con polvo, en los que el tamaño de grano puede ser tan reducido como hasta 45 μm , pero habitualmente no es inferior. La longitud de trayecto de representación de 480 mm ofrece por tanto la resolución espacial necesaria para una valoración espacial fiable y exacta de este tipo de procesos de trabajo.

35 Al mismo tiempo, la longitud de trayecto de representación de tan solo 480 mm permite una alta compactancia de la unidad de direccionado 10, que es necesaria en particular para trabajar de forma paralelizada. Al trabajar de forma paralelizada, varias unidades de direccionado a la vez están implicadas en un proceso de construcción común y, para ello, deben estar dispuestas de forma comparativamente densa unas al lado de otras.

40 La alta velocidad de la toma de imágenes que se hace posible por la longitud de trayecto de representación de 480 mm en combinación con el chip de cámara de 2/3", igualmente resulta en particular ventajosa para un proceso de fabricación aditiva basado en láser. La velocidad de barrido a la que el haz de trabajo es barrido sobre los granos de polvo u otro material puede ser comparativamente alta, por ejemplo, de 4 m/seg., de manera que se requiere una 45 elevada toma de imágenes para poder vigilar sin lagunas el proceso.

La cámara 30 está constituida por ejemplo por una cámara CMOS de alta velocidad con una frecuencia de toma de imágenes de 1 kHz a 2 kHz. Para garantizar la alta frecuencia de toma de imágenes sin lagunas y de forma constante durante un largo período de tiempo, la cámara 30 puede estar conectada a un captador de video.

50 La iluminación se realiza preferiblemente por flash estando sincronizada con la toma de imágenes de la cámara 30. La duración de un flash de iluminación es en la unidad de direccionado 10 preferiblemente mayor que la duración de entrada de imágenes de la cámara 30. De esta manera, cada flash de iluminación puede iluminar de forma homogénea el campo de trabajo completo disponible para el tratamiento por la unidad de direccionado 10, y al mismo tiempo, cada 55 imagen que puede corresponder solo a una pequeña zona de la zona iluminada puede tomarse con una luminosidad suficientemente alta.

Además, el tiempo de desconexión de la iluminación es preferiblemente mayor que el tiempo de conexión de la iluminación. De esta manera, se puede evitar un sobrecalentamiento. Esto permite prolongar la duración útil y una 60 mayor fiabilidad del proceso.

Una iluminación simultánea estática, es decir, no barrida, de la superficie total del campo de trabajo, que se usa preferiblemente, permite un funcionamiento robusto y condiciones de iluminación homogéneas para el campo de 65 trabajo completo.

Preferiblemente, la unidad de direccionado 10 también comprende una o varias unidades de control (no representadas)

que están configuradas para adaptar o controlar el dispositivo de enfoque 16 y el dispositivo óptico 39 en función de la configuración del dispositivo de direccionado XY 22 y/o la distancia de trabajo y, por tanto, el proceso de trabajo y el proceso de observación, como se ha descrito anteriormente.

- 5 Además de la vigilancia del proceso por medio de la cámara 30, la unidad de direccionado 10 de la figura 1 comprende una posibilidad de vigilancia adicional con la ayuda de un fotodiodo 58. El fotodiodo 58 está dispuesto detrás del segundo elemento óptico 38 que divide espacialmente la trayectoria de haz de imagen en una primera trayectoria de haz hacia la cámara 30 y una segunda trayectoria de haz hacia el fotodiodo 58. La longitud de onda de iluminación que puede ser por ejemplo de 850 nm es reflejada, como se ha descrito anteriormente, por el segundo elemento óptico 38, y otras longitudes de onda que son transmitidas por el primer elemento óptico 20, son igualmente transmitidas por el segundo elemento óptico 38, de manera que pueden ser detectadas de forma integrativa con la ayuda del fotodiodo 58.

- 15 En un ejemplo de forma de realización, el segundo elemento óptico 38 presenta una reflexión de más de 99% en el rango de longitud de onda de 820 nm a 870 nm y con un ángulo de incidencia de 45°, presenta una transmisión de más de 94% en el rango de longitud de onda de 400 nm a 700 nm y presenta una transmisión de más de 93%. en el rango de longitud de onda de 1.200 nm a 2.100 nm De esta manera, con la ayuda del fotodiodo 58 se puede vigilar en qué medida la intensidad de radiación se produce en el lugar del proceso de trabajo en estos intervalos de longitud de onda (400 a 700 nm y 1.200 a 2.100 nm) o partes de los mismos, por lo que pueden ser vigiladas propiedades y parámetros adicionales del proceso de trabajo.

- 20 En otras formas de realización, en lugar del fotodiodo 58 también puede estar previsto otro equipo de detección, por ejemplo, un pirómetro, una cámara VIR sensible a los intervalos de longitud de onda visible e infrarrojo y/o una cámara multispectral para crear un mapa de radiación o un mapa de calor, un sensor térmico de imágenes o un tomógrafo óptico de coherencia.

- 30 En este tipo de formas de realización en las que el otro equipo de detección comprende un tomógrafo de coherencia óptica puede realizarse una detección de coherencia, de tal forma que por el tomógrafo de coherencia es enviado un primer haz parcial de iluminación por el segundo elemento óptico 38, que tras pasar por el primer elemento óptico 20 se solapa con el haz de trabajo y que tras una reflexión por la superficie de trabajo 18 es conducido de vuelta al tomógrafo de coherencia óptica. Allí, el primer haz parcial de iluminación reflejado se solapa con un segundo haz parcial de iluminación y con la ayuda de un fotodiodo se detecta un patrón de interferencia. Con la ayuda de un análisis del patrón de interferencia es posible determinar una topografía de superficie. La topografía de superficie puede ser determinada tanto inmediatamente antes del proceso de trabajo como inmediatamente después del mismo, con lo que se posibilita una posibilidad adicional de vigilancia del proceso de trabajo.

- 40 Otras formas de realización comprenden tan solo una cámara 30 para la vigilancia del proceso y no presentan ningún fotodiodo 58 y ningún otro equipo de detección para una vigilancia adicional del proceso. En estas formas de realización, el segundo elemento óptico 38 puede estar compuesto por un espejo que solo refleja pero no transmite.

- Además, otras formas de realización no representadas de la unidad de direccionado según la invención comprenden tan solo un tomógrafo de coherencia óptica para la vigilancia de proceso y/o la observación de proceso, en concreto, como primer equipo de detección en lugar de la cámara 30 representada en la figura 1. Estas formas de realización, por lo tanto, no tienen que presentar ningún fotodiodo 58 y ningún otro equipo de detección para una vigilancia adicional del proceso. En estas formas de realización, el segundo elemento óptico 38 puede estar constituido por un espejo que tan solo refleja pero no transmite. La detección de coherencia puede realizarse entonces de la manera descrita anteriormente, pero con la diferencia de que el primer haz parcial de iluminación enviado por el tomógrafo de coherencia no es transmitido por el segundo elemento óptico 38, sino que es reflejado en este para, a continuación, ser dirigido en dirección hacia la superficie de trabajo 18.

- 50 La figura 3 muestra un alzado lateral de una unidad de direccionado 110 de este tipo que presenta tan solo una cámara 30 para la vigilancia del proceso. Como está representado en la figura 3, a través de una direccionado de la trayectoria de haz de imagen dentro del sistema óptico de representación 40, con la ayuda de los espejos de direccionado 48, 50 se hace posible una forma de construcción más compacta de la unidad de direccionado 110 con la menor longitud de trayecto de representación posible, que ofrece las ventajas descritas anteriormente.

- 60 La figura 4 muestra un alzado lateral de una unidad de direccionado 210 según otra forma de realización, que a diferencia de la unidad de direccionado 10 comprende en lugar del fotodiodo 58 un sensor térmico de imagen, con el que se puede crear un mapa de calor del entorno del proceso. El módulo de cámara 62 representado en la figura 4 comprende el dispositivo óptico 30 descrito anteriormente y la cámara 30. En lugar del módulo de cámara 62 también puede estar previsto un módulo OCT que comprenda un OCT y el dispositivo óptico 39 descrito anteriormente.

- 65 La figura 5 muestra una vista exterior de la unidad de direccionado 110, incluido un dispositivo de iluminación 64 que está dispuesto en forma de anillo, por ejemplo, en forma de anillo circular, en forma de anillo cuadrado o en otra forma anular, alrededor de la trayectoria del haz de trabajo y que está configurado para iluminar la superficie de trabajo 18 de forma homogénea y por flash a través de la segunda ventana 24. La segunda ventana 24 comprende un vidrio de

protección sujeto por un soporte 66 dentro de un marco de apoyo 68. El marco de apoyo 68 puede comprender una refrigeración por agua para proteger el espacio interior de la unidad de direccionado 10 contra un sobrecalentamiento.

Como se muestra en la figura 5, la iluminación 64 es preferiblemente externa, es decir que está dispuesta fuera de un espacio interior de la unidad de direccionado 110, de tal forma que los haces iluminadores iluminan la superficie de trabajo 18 no a través de la unidad de direccionado 110 – es decir, no a través de su espacio interior. Además, la iluminación 64 está dispuesta de forma estática con respecto a una carcasa de la unidad de direccionado 110 y los haces iluminadores no son barridos. De esta manera, se pueden evitar o reducir la radiación dispersa y el calentamiento dentro de la unidad de direccionado 110 y se puede hacer más robusto y fiable el proceso.

La figura 6 muestra una vista en planta desde arriba de cuatro unidades de direccionado 110 que están dispuestas unas al lado de otras para un trabajo paralelizado. En la disposición representada, los campos de trabajo de unidades de direccionado 110 contiguas son adyacentes de manera continua pudiendo también solaparse parcialmente en la zona de transición. De esta manera, los campos de trabajo de las unidades de direccionado pueden combinarse formando un campo de trabajo de conjunto que puede medir hasta 4 veces el tamaño de un campo de trabajo individual. Sobre el campo de trabajo de conjunto combinado, durante un trabajo paralelizado, cada una de las unidades de direccionado 110 puede procesar su propia zona parcial para fabricar una parte correspondiente de una pieza comparativamente grande. Esta disposición y la posibilidad correspondiente de un trabajo paralelizado resultan posibles por el hecho de que cada una de las unidades de direccionado 110 presenta un campo de trabajo que a través de la superficie de proyección de la unidad de direccionado 110 se extiende más allá del plano del campo de trabajo, en el sentido visto desde arriba. El trabajo paralelizado sobre un campo de trabajo más grande con la ayuda de varias unidades de direccionado permite la fabricación de piezas más grandes en menos tiempo.

Otra posibilidad del trabajo paralelizado está representada en la figura 7. La figura 7 muestra una vista en planta desde arriba de dos unidades de direccionado 110 que están dispuestas una al lado de otra de tal forma que sus campos de trabajo se solapan sobre un campo de trabajo común, que puede ser procesado conjuntamente y simultáneamente por ambas unidades de direccionado 110. La forma de construcción de la unidad de direccionado puede ser tan compacta, en particular, la superficie de proyección de la unidad de direccionado 110 en el sentido visto desde arriba, también denominado como “footprint” (huella), puede ser tan pequeña en comparación con el campo de trabajo, y el campo de trabajo puede sobresalir tanto del footprint, que el campo de trabajo común solapado corresponda a al menos 50% del tamaño del campo de trabajo de una unidad de direccionado 110. En algunas formas de realización, el campo de trabajo común solapado puede comprender incluso 70% o más de la superficie de un campo de trabajo individual. De esta manera, las unidades de direccionado pueden usarse de manera en particular eficiente para una fabricación acelerada de componentes que también pueden fabricarse con una sola unidad de direccionado, pero no durante un período de tiempo tan corto o en una calidad tan buen.

En otras formas de realización, la superficie de proyección de la unidad de direccionado al plano del campo de trabajo también puede estar situada en su totalidad dentro del campo de trabajo. A diferencia de lo que está representado en las figuras 6 y 7, estas unidades de direccionado pueden estar dispuestas de tal manera que sus campos de trabajo se solapan por los cuatro lados con un campo de trabajo de otra de estas unidades de direccionado.

Lista de signos de referencia

10, 110, 210	Unidad de direccionado
12	Primera ventana
14	Haz de trabajo
16	Dispositivo de enfoque
18	Superficie de trabajo
20	Elemento óptico
22	Dispositivo de direccionado XY
24	Segunda ventana
26	Primer espejo de barrido
28	Segundo espejo de barrido
30	Cámara
32	Haces de imagen
34	Zona de trabajo
36	Elemento de compensación
38	Segundo elemento óptico
40	Sistema óptico de representación
39	Dispositivo óptico
42, 44, 46	Lente
48, 50	Fotodiodo
52, 54, 56	Lente
58	Fotodiodo
60	Sensor térmico de imagen
62	Módulo de cámara

64	Iluminación
66	Soporte
68	Marco de apoyo
70	Unidad de control
5 72	Mecanismo de desplazamiento manual
74	Mecanismo de desplazamiento manual

REIVINDICACIONES

1. Unidad de direccionado (10, 110, 210) que comprende:
 - una primera ventana (12), por la que un haz óptico de trabajo (14) puede entrar en la unidad de direccionado,
 - una segunda ventana (24), por la que el haz de trabajo puede salir de la unidad de direccionado y por la que haces de detección (32) pueden entrar en la unidad de direccionado desde una zona de trabajo (34) a lo largo del recorrido correspondiente del haz de trabajo (14) saliente y en sentido contrario al mismo,
 - un elemento óptico (20) que refleja al menos parcialmente una primera longitud de onda, definiendo la unidad de direccionado
 - una trayectoria del haz de trabajo que recorre el haz de trabajo (14) desde la primera ventana (12) hacia la segunda ventana (24) mediante una reflexión en el elemento óptico (20), y
 caracterizada por que la unidad de direccionado comprende además lo siguiente:
 - un dispositivo de direccionado XY (22) que está dispuesto entre la segunda ventana (24) y el elemento óptico (10) en la trayectoria del haz de trabajo, para dirigir el haz de trabajo (14) y barrer el haz de trabajo saliente,
 - y
 - un dispositivo de enfoque (16) para enfocar el haz de trabajo (14), en el que el dispositivo de enfoque comprende al menos dos lentes móviles, presenta una distancia focal variable y está dispuesto en la trayectoria del haz de trabajo entre la primera ventana (12) y el elemento óptico (20), estando el dispositivo de enfoque (16) configurado para mover por lo menos dos lentes de las al menos dos lentes móviles (54, 56) simultáneamente e independientemente entre sí para modificar el diámetro focal del haz de trabajo (14) sin modificar al mismo tiempo la distancia focal,
 en donde la unidad de direccionado (10, 110, 210) comprende además una unidad de control (70) configurada para controlar desplazamientos de las al menos dos lentes móviles (54, 56) del dispositivo de enfoque (16) a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo y para adaptar la distancia focal del dispositivo de enfoque en su conjunto en función de una configuración del dispositivo de direccionado XY (22).
2. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según la reivindicación 1, en la que la unidad de control (20) está configurada además para variar la distancia focal del dispositivo de enfoque (16) en función de una distancia de trabajo.
3. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según la reivindicación 1 o 2, en la que el dispositivo de enfoque (16) está configurado para mover varias de las al menos dos lentes móviles (54, 56) conjuntamente a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo.
4. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores, en la que el dispositivo de enfoque (16) está configurado para mover las al menos dos lentes móviles (54, 56) en sentidos opuestos.
5. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones 3 o 4, en la que una distancia entre una primera lente móvil (56) de las lentes móviles del dispositivo de enfoque y una segunda lente móvil (54) de las lentes móviles del dispositivo de enfoque está escogida de tal forma que la posición axial de una imagen virtual generada por la primera lente móvil (56) y la segunda lente móvil (54) puede variar dentro de un rango que corresponde al recorrido de desplazamiento de la segunda lente móvil (54), pudiendo moverse la segunda lente móvil (54) a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo dentro del recorrido de desplazamiento.
6. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores, en la que la unidad de control está además configurada para controlar los desplazamientos de las al menos dos lentes móviles (54, 56) a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo de tal manera que las al menos dos lentes móviles (54, 56) se muevan en sentidos opuestos a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo.
7. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores, en la que la unidad de control está conectada con un dispositivo de detección (30) y está configurada para controlar el enfoque de la unidad de direccionado de manera completamente automatizada.
8. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores, que comprende además uno o varios mecanismos de desplazamiento (72, 74) configurados para un desplazamiento manual de las al menos dos lentes móviles (54, 56) a lo largo de la trayectoria del haz de trabajo.
9. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores, que está dimensionada y configurada de tal forma que cuatro de estas unidades de direccionado pueden disponerse de tal forma que para una o varias distancias de trabajo, sus campos de trabajo forman conjuntamente un campo de trabajo total plano con un tamaño de 3,5 a 4 veces el tamaño de cada uno de los campos de trabajo; y/o que está dimensionada y configurada de tal forma que dos de estas unidades de direccionado pueden disponerse de tal forma que sus campos de trabajo queden superpuestos en un campo de trabajo común que mide al menos el 50%, preferiblemente al menos el 60%, de forma en particular preferible al menos el 70% de la superficie de cada uno de los campos de trabajo.

10. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores, en la que
 - el elemento óptico (20) transmite además al menos parcialmente al menos una (otra) segunda longitud de onda;comprendiendo la unidad de direccionado (10, 110, 210) además un primer equipo de detección (30), y en la que la unidad de direccionado además
 - define una trayectoria del haz de detección que recorren los haces de detección (32) desde la segunda ventana (24) hasta el primer equipo de detección (30), siendo transmitidos los haces de detección (32) al menos parcialmente por el elemento óptico (20), y
 - comprende un dispositivo óptico (39) que está dispuesto en la trayectoria del haz de detección entre el elemento óptico (20) y el primer equipo de detección (30) y que está configurado para modificar una distancia focal para los haces de detección (32);y en la que el dispositivo de direccionado XY (22) está dispuesto entre la segunda ventana (24) y el elemento óptico (20) en la trayectoria del haz de trabajo y en la trayectoria del haz de detección para dirigir el haz de trabajo (14) y para barrer el haz de trabajo saliente y para dirigir al mismo tiempo los haces de detección (32) para que recorran la trayectoria del haz de detección a través del elemento óptico (20) hasta el primer equipo de detección (30).
11. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según la reivindicación 10, en la que el dispositivo óptico (39) está configurado para una adaptación de la colimación, del enfoque o de un ensanchamiento de haz en función de una configuración del dispositivo de direccionado XY (22) y/o de una distancia de trabajo.
12. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según la reivindicación 10 u 11, en la que el primer equipo de detección es o comprende una cámara (30) y que comprende un sistema óptico de representación (40) para representar la zona de trabajo (34) en la cámara (30), comprendiendo el sistema óptico de representación (40) el dispositivo óptico (39) y estando configurado el dispositivo óptico (39) para modificar la distancia focal del sistema óptico de representación (40).
13. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un segundo elemento óptico (38) y un segundo equipo de detección (58), y en la que el segundo elemento óptico (38)
 - está dispuesto en la trayectoria del haz de detección entre el elemento óptico (20) y el primer equipo de detección (30),
 - refleja al menos parcialmente la segunda longitud de onda para transmitirla al primer equipo de detección (30),
 - transmite al menos parcialmente otras longitudes de onda para transmitirlas al segundo equipo de detección (58).
14. Unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores para "Direct Powder Fusion" (fusión directa de polvo), fotopolimerización VAT y/o para "Direct Energy Deposition" (deposición directa de energía).
15. Uso de una unidad de direccionado (10, 110, 210) según alguna de las reivindicaciones anteriores para fabricación aditiva, en particular para "Direct Powder Fusion" (fusión directa de polvo), fotopolimerización VAT y/o "Direct Energy Deposition" (deposición directa de energía).

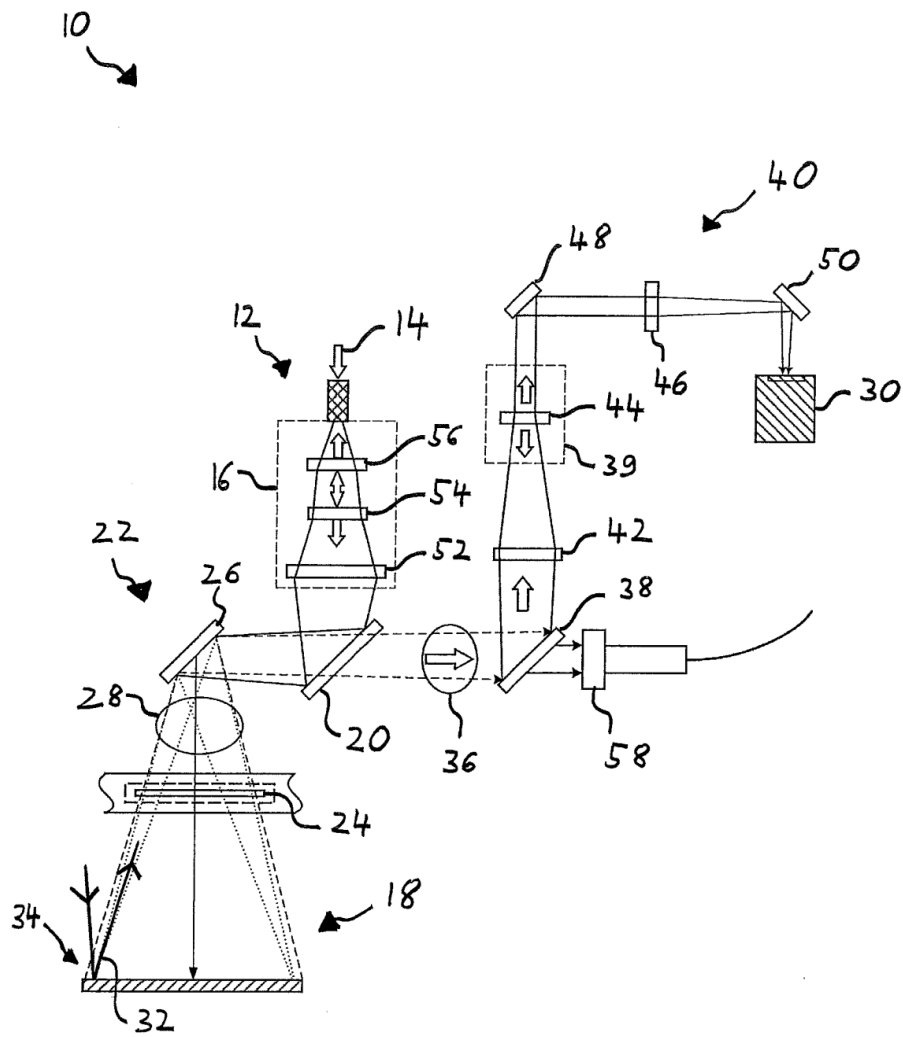


Fig. 1

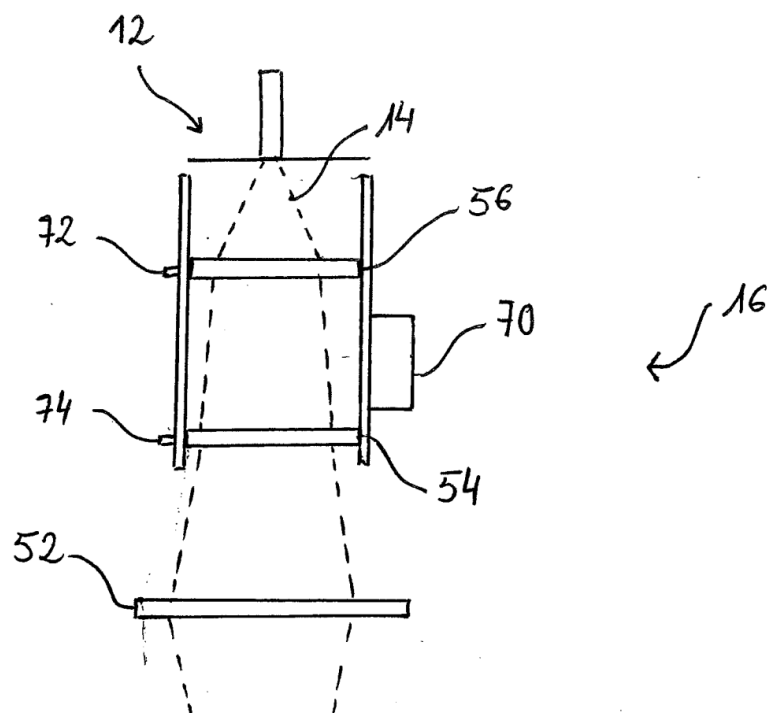


Fig. 2

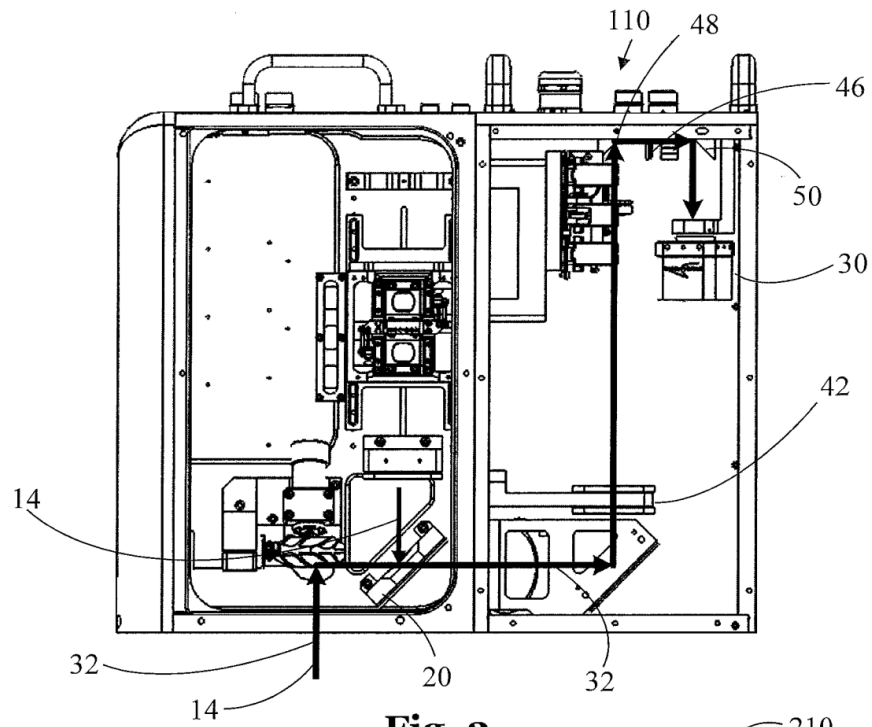


Fig. 3

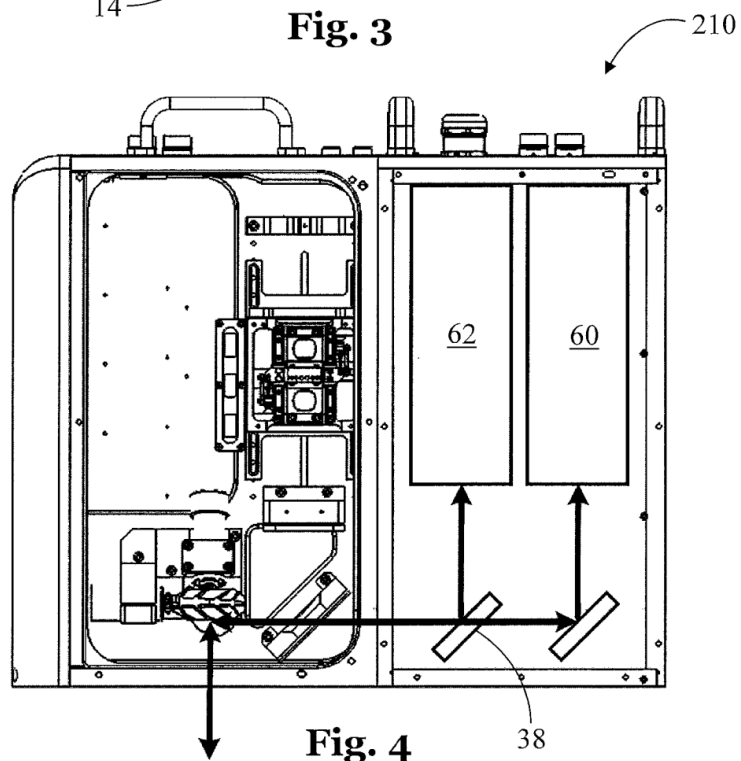


Fig. 4

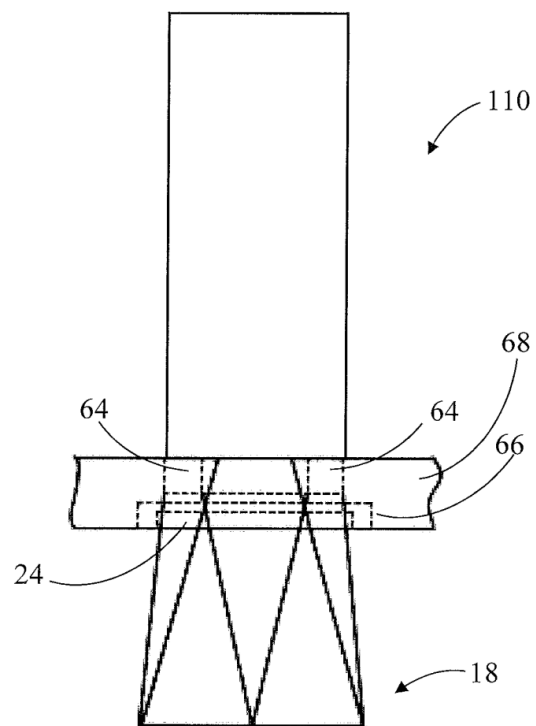


Fig. 5

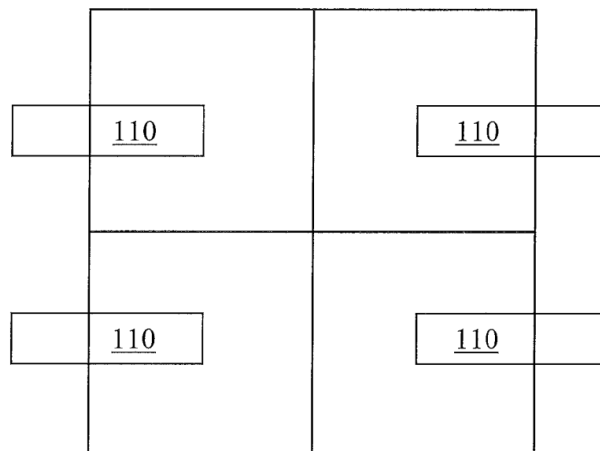


Fig. 6

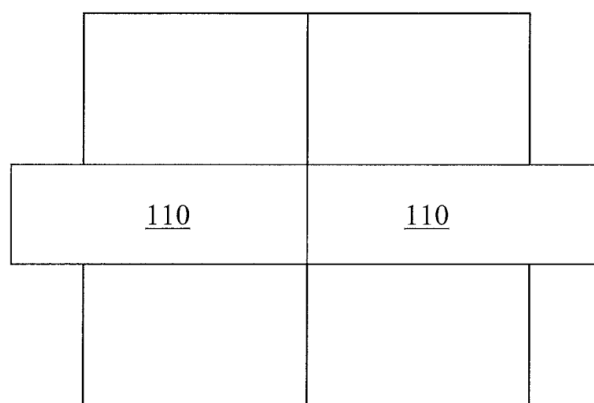


Fig. 7